

## **Resum**

Dins de l'estudi de l'enginyeria, els conceptes d'eficiència energètica i preocupació medi ambiental són punts que van augmentant el seu pes dins del marc social actual. És per això que aquest Treball els pren com a eixos principals.

A l'inici d'aquest treball, es presenta una introducció dels sistemes de cogeneració, concretament el seu funcionament, i el ventall de possibilitats en el qual la cogeneració pot ser utilitzada. Posteriorment, es fa un anàlisi de la bugaderia estudiada especialment a nivell energètic i la demanda d'aigua calenta, per la qual es dissenya el sistema de cogeneració. A continuació, es fa un estudi de la seva capacitat de servei, proporcionat per tot el sistema de rentat i assecat.

Seguidament, es fa una petita recerca sobre l'àmbit legislatiu que afecta als sistemes de cogeneració actuals i a partir d'aquí i els requeriments de la bugaderia actual es dimensiona el sistema de cogeneració necessari, a més de dissenyar els complements necessaris per adequar-se a la situació actual. Finalment, es fa un estudi econòmic del que suposaria la instal·lació de tot el sistema definit anteriorment i també un balanç de l'adequació del treball.

# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>2</b>
<b>GLOSSARI</b>	<b>5</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>6</b>
Origen i motivació del projecte .....	6
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>7</b>
2.1. Objectius del projecte .....	7
2.2. Abast del projecte .....	7
<b>3. EXPLICACIÓ DEL SISTEMA DE COGENERACIÓ</b>	<b>8</b>
3.1. Funcionament .....	9
3.1.1. Accionador de força motriu .....	10
3.1.2. Sistema de recuperació de calor residual .....	10
3.1.3. Sistema de control .....	11
<b>4. EXPLICACIÓ DELS DIFERENTS TIPUS DE SISTEMES DE COGENERACIÓ</b>	<b>12</b>
4.1. Motor Stirling .....	12
4.2. Motors de combustió interna .....	13
4.3. Turbines de gas .....	14
4.4. Turbines de vapor .....	15
4.5. Cicles combinats .....	16
4.6. Piles de combustible .....	16
<b>5. SITUACIÓ DE LA BUGADERIA ACTUAL</b>	<b>19</b>
5.1. Les rentadores .....	21
5.2. Les assecadores .....	24
5.3. Requeriments energètics .....	25
5.3.1. Requeriments energètics elèctrics .....	25
5.3.2. Requeriments energètics calorífics .....	25

5.3.3.	Consum de gas per l'assecadora.....	27
<b>6.</b>	<b>NORMATIVA VIGENT .....</b>	<b>28</b>
6.1.	Ajudes i retribucions especials per a cogeneració d'alta eficiència.....	28
6.2.	Retribucions econòmiques per generació d'energia .....	29
6.3.	Límit d'emissions de gasos contaminants.....	29
6.4.	Límit de sorolls i vibracions .....	31
<b>7.</b>	<b>EXPLICACIÓ DE L'ALTERNATIVA SELECCIONADA .....</b>	<b>32</b>
7.1.	Descripció general de la planta de microcogeneració seleccionada.....	33
7.1.1.	La unitat de cogeneració.....	34
7.1.2.	Dipòsit acumulador d'ACS .....	35
7.1.3.	Intercanviador de calor.....	37
7.1.4.	Cambra de mescla.....	37
7.1.5.	Sistema de control .....	38
7.2.	Eliminació dels productes resultants .....	39
7.3.	Manteniment.....	39
<b>8.</b>	<b>IMPACTE AMBIENTAL .....</b>	<b>40</b>
<b>9.</b>	<b>IMPACTE ECONÒMIC .....</b>	<b>41</b>
9.1.	Estudi econòmic .....	41
9.1.1.	Estudi del cas 1 .....	42
9.1.2.	Estudi del cas 2.....	42
9.2.	Pressupostos.....	43
9.3.	Balanç econòmic .....	43
<b>10.</b>	<b>RESULTATS .....</b>	<b>45</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>46</b>
	<b>AGRAÏMENTS .....</b>	<b>47</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>48</b>
	Referències bibliogràfiques.....	48
	Bibliografia complementària.....	48

<b>ANNEX I – CÀLCUL DE L'ENERGIA ELÈCTRICA I CALORÍFICA CONSUMIDA ACTUALMENT</b>	<b>49</b>
<b>ANNEX II – CÀLCUL DE L'ENERGIA ELÈCTRICA I CALORÍFICA CONSUMIDA EN EL CAS DE COGENERACIÓ</b>	<b>51</b>
<b>ANNEX III – CÀLCUL DEL COST DE LA NOVA INSTAL·LACIÓ</b>	<b>52</b>
<b>ANNEX IV – CÀLCUL DEL COST DE L'ENERGIA CALORÍFICA I ELÈCTRICA UTILITZADA EN LES DUES ALTERNATIVES</b>	<b>54</b>
<b>ANNEX V – PLÀNOLS</b>	<b>56</b>

## Glossari

ACS: Abreviació d'aigua calenta sanitària; és per al consum humà, s'obté de la xarxa i posteriorment ha estat escalfada sota condicions d'higiene i salubritat.

BIOGAS: gas combustible format fonamentalment per metà i obtingut per digestió anaeròbia de residus o subproductes orgànics, com ara purins, fems, residus sòlids urbans (RSU) orgànics prèviament separats, etc. En la seva producció s'obté també un fertilitzant anomenat compost, la seva obtenció s'anomena compostatge. Presenta l'avantatge que s'obté a partir de residus que altrament serien llençats a abocadors

HFO: inicials de Heavy Fuel Oil i equival al nº 6 de combustible després del refinament, és el petroli residual d'alta viscositat.

LHO: inicials de Light Fuel Oil i és un producte de petroli per destil·lació durant un procés de refinació; adequat per al seu ús en equips de combustió de combustibles líquids sense preescalfament, pràcticament tot el petroli utilitzat en motors de combustió interna.

LPG: inicials de Liquefied Petroleum Gas i és gas líquid de petroli o simplement el propà o el butà, és una barreja inflamable de gasos d'hidrocarburs utilitzats com a combustible.

NAPHTHA: Producte inflamable i líquid format per hidrocarburs que s'obté a partir de la condensació de gas natural de la destil·lació de petroli, quitrà d'hulla o torba, bullint en un cert rang. És un terme que abasta entre les fraccions més lleugeres i volàtils dels hidrocarburs líquids en petroli, pot ser des d'incolores fins a un color marró vermellós, molt semblant a la gasolina.

Nm<sup>3</sup>: Abreviatura de metre cúbic normal, unitat que s'utilitza bàsicament per especificar quantitat de gasos. Normal fa referència a les condicions que es considera aquell volum, que són condicions normals (0°C i 1 atm).

We: Abreviatura de Watt elèctric. S'anirà utilitzant al llarg del treball per diferenciar energia elèctrica en concret de qualsevol tipus d'energia.

Wt: Abreviatura de Watt Tèrmic. S'anirà utilitzant al llarg del treball per diferenciar energia tèrmica en concret de qualsevol tipus d'energia.

# 1. Prefaci

## Origen i motivació del treball

Aquest treball va ser escollit per l'interès que van despertar en l'autora assignatures com Termodinàmica i Termodinàmica. A més a més, l'interès en l'aspecte mediambiental com a motivació principal del treball va ser un dels punts forts que va impulsar a tirar-ho endavant. També la curiositat per temes d'eficiència energètica en sistemes de generació d'energia com la cogeneració i les ganes d'aprofundir en els coneixements d'aquest àmbit van fer seleccionar aquest tema com a Treball de Final de Grau.

## **2. Introducció**

### **2.1. Objectius del treball**

Es tracta d'estudiar la viabilitat del procés de microgeneració per gas en una bugaderia. En aquest procés es crema gas natural, part de l'energia generada es converteix en energia elèctrica i la resta es fa servir per a produir aigua calenta i escalfar aire. L'electricitat generada s'utilitzaria per a fer funcionar les rentadores i assecadores, l'aigua calenta es fa servir per a rentar i l'aire escalfat serviria per el procés d'assecat de les assecadores.

### **2.2. Abast del treball**

En aquest treball es tracta bàsicament tot el sistema energètic que afecta als processos de rentat i d'assecat, deixant de banda el sistema d'enllumenat i altres utensilis que no es troben connectats a la xarxa trifàsica, ja que el seu consum és menyspreable (inferior a 6%), en comparació amb els altres dos processos esmentats a part que comportarien la instal·lació d'un convertidor de trifàsic a monofàsic. Pel que fa a l'estudi mediambiental, només es té en compte els causats pel canvi d'instal·lació energètica, ja que altres problemes com l'eutrofització de l'aigua per culpa dels sabons no són resolubles a través de l'enfocament que té aquest treball.

### 3. Explicació del sistema de cogeneració

Un sistema de cogeneració és un conjunt de dispositius situats en sèrie amb un objectiu principal que és la producció simultània d'energia elèctrica i tèrmica. D'aquesta manera, no només s'aprofita el treball net del procés, sinó que també s'utilitza la calor despresa per escalfar altres gasos o líquids. És per això, que la demanda d'aquesta sistema sempre comporta la satisfacció de la necessitat d'energia elèctrica i d'energia tèrmica.

Un sistema de cogeneració pot incloure un ampli rang de tecnologies per poder produir l'energia descrita anteriorment, però sempre inclourà un generador elèctric i un sistema de recuperació de calor. És necessari comentar que generalment les tecnologies que suporten els sistemes de cogeneració no es basen en energies renovables, tot i que presenten una sèrie de característiques que les fan molt interessants en termes ambientals i econòmics. S'utilitzen tecnologies convencionals (majoritàriament combustibles fòssils) de generació distribuïda (la producció d'energia se situa proper al punt de consum) fet que disminueix les pèrdues ja que la generació d'electricitat convencional comporta pèrdues a l'hora de transportar i distribuir l'energia mitjançant la xarxa, sobretot per als consumidors de petita escala, tal i com indica Guide To Cogeneration [1].

Amb la utilització de calor, l'eficiència de la planta de cogeneració pot arribar al 90%. A més a més, l'electricitat generada per la planta és utilitzada de forma local i per tant, les pèrdues són mínimes, tal i com s'ha comentat en el paràgraf anterior. Una altra avantatge que comporten aquests sistemes de cogeneració és la seva eficiència: el fet d'aprofitar també l'energia calorífica com energia útil fa augmentar el rendiment del sistema en comparació amb altres, on la calor despresa no s'aprofita. D'aquesta forma, l'alta eficiència dels processos de cogeneració permet que per cada unitat d'energia primària consumida (gas natural, fuel...) s'aconsegueixi més energia final útil en forma d'electricitat i calor que les altres formes d'explotació tradicional.

A més a més, com transportar electricitat en la distància és més fàcil i barat que transportar calor, les instal·lacions de cogeneració normalment se situen el més a prop possible del punt de consum de calor i idealment, els sistemes són dimensionats per poder cobrir les demandes necessàries de calor. Si no fos així, es necessitaria un escalfador addicional i les avantatges mediambientals i el pressupost es veurien realment afectats per aquesta opció.



Quan es genera menys electricitat de la necessària, s'haurà d'optar per adquirir-ne de la xarxa o generar-ne d'altres formes, però en la majoria d'escenaris on se situa la cogeneració es produeix més electricitat de la realment necessitada. En aquest cas, l'extra d'energia pot ser venuda a la xarxa o proporcionada a algun altre client mitjançant sistemes de distribució.

Altres noms pels quals es coneix un sistema de cogeneració són "CHP" (Combined Heat and Power) o "Total Energy".

### **3.1. Funcionament**

Un sistema de cogeneració utilitza un únic procés per generar electricitat i calor, les proporcions (ràtio: calor/electricitat) dels quals depenen dels detalls tècnics de cada planta, i en funció d'aquests s'adequa el sistema a les necessitats de cada escenari.

D'aquesta manera, una planta de cogeneració està formada per 4 elements bàsics:

- Un accionador de força motriu (sistema motor)
- Un generador d'electricitat
- Un sistema de recuperació de calor
- Un sistema de control

Depenent dels requeriments de la situació, la força motriu s'obté d'una turbina de gas, d'una turbina de vapor, motor Stirling o motor de combustió interna.

Les plantes de cogeneració poden ser dissenyades per produir des d'1 kWe fins a 500 MWe. Les plantes d'1 MWe a 500 MWe acostumen a ser aplicacions per a la indústria, sobretot les indústries farmacèutiques i químiques.. Per altra banda, es considera de petita escala per a plantes de producció inferior a 1MWe, el cas en el que es centra el treball, i aquestes ja acostumen a ser equipaments prefabricats per simplificar-ne la instal·lació. Altres subdivisions de petita escala són de "mini-escala" per a produccions menors a 500 kWe o de "micro-escala" per a produccions que no superen el 20 kWe.

### 3.1.1. Accionador de força motriu

Els sistemes de cogeneració s'acostumen a distingir per l'accionador de força motriu i el combustible usat. És per això que n'hi ha de diversos tipus que es comenten més endavant com ara turbines de gas, motors alternatius, piles de combustible... Aquesta part del sistema, és la que té com a funció passar de l'energia química del combustible a una energia mecànica aprofitable que posteriorment serà convertida en energia elèctrica. A partir del tipus d'accionador, el sistema de cogeneració tindrà característiques tècniques diferents en quant a rang d'energia subministrat, eficiència, ràtio electricitat: calor...

### 3.1.2. Sistema de recuperació de calor residual

El sistema de recuperació de calor és una part essencial de tota la instal·lació de cogeneració. Aquesta part s'encarrega d'obtenir la calor a partir dels gasos d'escapament que produeix el sistema, en el cas que el sistema de cogeneració sigui una turbina de gas o un motor alternatiu.

La forma més corrent d'extreure aquesta calor, avui en dia, és a través d'un intercanviador de calor per on passen els gasos i la calor es transfereix a l'aigua d'alimentació de la caldera per a produir vapor o aigua calenta. Els gasos una vegada refrigerats, s'expulsen a través de la xemeneia o del tub d'escapament a l'atmosfera.

Els gasos d'escapament anteriorment comentats, acostumen a tenir altes temperatures, però no tota la calor pot ser recuperada per a l'escalfador, això depèn de:

- Per una transferència de calor efectiva, la temperatura dels gasos d'escapament ha de ser superior al fluid que s'ha d'escalfar. Normalment es requereix una diferència mínima de 30 ° C;
- Els gasos d'escapament no s'han de refredar a una temperatura a la qual la seva flotabilitat sigui inferior a la de l'aire circumdant i per tant, no s'asseguri la dispersió en l'atmosfera.
- La temperatura dels gasos d'escapament a la qual es produeix la condensació d'àcids: especialment per a la combustió de combustibles de petroli que continguin sulfurs i que al condensar passin a contenir àcid sulfúric per sota de certes temperatures.

- La calor latent del vapor d'aigua dels gasos d'escapament només pot ser recuperada quan la temperatura dels gasos d'escapament és inferior a 100 °C, el punt en què el vapor d'aigua condensa en forma líquida i allibera aquesta calor.

Aquestes restriccions, doncs, afectaran directament al disseny de la unitat de recuperació de calor residual. A més a més, els calefactores s'ha de calcular a partir de les condicions especificades de la turbina o del motor. El procediment que s'acostuma a dur a terme és, a partir de les dades del flux de gasos d'escapament d'on s'ha d'extreure la calor i les condicions de temperatura i pressió necessària de la producció de calor requerida, es calcula la quantitat de calor que pot ser recuperada i la temperatura a la qual els gasos d'escapament s'extraurien del calefactor.

### **3.1.3. Sistema de control**

El sistema de control és una part del sistema cabdal en termes de seguretat, ja que detecta les fuites o altres errors que es puguin trobar en el funcionament usual i, si és necessari, provocar aturades d'emergència. Aquesta part també monitoritza el consum de combustible en funció de la demanda que aparegui i regula també la connexió amb la xarxa elèctrica per a suplir el cas en el qual no es pogués cobrir les necessitats només amb el sistema de cogeneració.

## 4. Explicació dels diferents tipus de sistemes de cogeneració

### 4.1. Motor Stirling

El motor Stirling és un dispositiu de combustió externa i que per tant difereix substancialment de la planta de combustió convencional ja que la calor és proporcionada des de fora del motor. Aprofitant les propietats dels gasos que a l'escalfar-se s'expandeixen i al refredar-se es contrauen, el motor Stirling basa el seu funcionament en contenir un gas que es va desplaçant en cicles d'expansió i contracció. Es força que el gas de treball a cicles successius d'escalfament i refredament i per tant, de dilatació i contracció, cosa que produeix un moviment mecànic de l'èmbol. Aquest moviment és el que s'utilitza per produir electricitat a través d'un alternador.

El fluid utilitzat per mantenir el focus fred (refrigerant-lo) s'escalfa durant el procés, i és d'aquí d'on s'obté l'energia tèrmica.

El motor Stirling té menys parts mòbils que els motors convencionals, i no té vàlvules, balancins, injectors de combustible ni sistemes d'encesa per espurna. El fet d'anar produint moviment sobre els pistons és el que serveix per produir energia elèctrica mitjançant un alternador. Per tant, és més silenciós que els motors normals, una característica que també resulta de la combustió contínua, en lloc de la d'impulsos, del combustible. Els motors Stirling també requereixen poc manteniment i les emissions de partícules, òxids de nitrogen i els hidrocarburs no cremats són baixes. L'eficiència d'aquestes màquines és potencialment més gran que la dels dispositius de combustió o turbines de gas internes. Per als sistemes de microcogeneració on la necessitat de les calderes és reduïda, aquest sistema és molt adequat ja que està desenvolupat per a calderes petites. En altres sistemes, com ara el sistemes per ignició, proporcionen un mínim de 3 kW<sub>e</sub>.

Els avantatges del motor Stirling, a part de tenir menys peces mòbils i amb baixa fricció, són no tenir la necessitat d'una caldera addicional ni càmera de combustió interna, a més una alta eficiència teòrica. El cremador extern permet una fuga molt neta i dona la possibilitat de controlar la sortida elèctrica del motor mitjançant la reducció de la temperatura del costat calent: d'aquesta manera, apareix la possibilitat de variar la producció d'electricitat sense la necessitat de la demanda de calor tèrmic.

## 4.2. Motors de combustió interna

Els motors de combustió interna o motors alternatius, com són anomenats en aquest àmbit, són motors que treballen de forma similar que ho fan els motors d'automòbils de gasolina o dièsel. Encara que el sistema conceptualment sigui similar al de les turbines de gas apareixen diferències importants: els motors alternatius tenen una eficiència elèctrica més alta però és més difícil aprofitar l'energia tèrmica que produeixen, ja que acostuma a ser a baixes temperatures i es dispersa fàcilment per l'expulsió de gasos i els sistemes de refredament del motor i és aquí on s'instal·laran els recuperadors de calor. Així doncs, la ràtio calor:potència no acostuma a ser molt distant a la unitat, sinó que es troba entre 0,5:1-2:1.

Tal i com s'ha comentat anteriorment, el motor i els lubricants han de ser refrigerats per evitar un sobreescalfament del sistema i d'aquí es produeix una font de recuperació de calor, tot i que no sempre és recuperable. En aquests tipus de sistemes de cogeneració, els circuits de refrigeració i els gasos d'escapament acaben produint una única sortida d'energia calorífica, normalment produint aigua al voltant de 100°C.

Hi ha dos tipus de motor i es classifiquen segons el seu mètode d'encesa:

- Encesa per compressió (dièsel): s'utilitza en sistemes de cogeneració de gran escala, sovint acompanyats d'interrefredadors i carregadors turbo. Els motors dièsel accepten gasoil, fuel i gas natural i la potència elèctrica pot arribar fins als 15 MWe. Els sistemes de refrigeració són més complexos que en els motors d'encesa per espurna i les temperatures solen ser més baixes, en general 85°C màxim, el que limita les possibilitats de recuperació de calor. Actualment, els motors moderns utilitzen una ignició retardada i augmenten els ratis de compressió fet que limita les emissions de NO<sub>x</sub>. L'escala que acostumen a abarcar aquests equipaments fa que el cost d'un post-tractament per les emissions de gasos contaminants sigui econòmicament viable i recomanable.
- Encesa per espurna: el funcionament és similar al del motor dièsel i les emissions de gasos també poden ser utilitzades per la recuperació de calor. Anteriorment, els sistemes d'encesa per espurna presentaven rendiments elèctrics més baixos i fins a una potència de 2 MWe. Els sistemes que ara superen els 3 MWe utilitzen una

precàmera on s'hi produeix una barreja amb oxigen (12%) per augmentar l'eficiència al nivell dels motor dièsel.

Els motors alternatius produeixen altres forces no desitjades i requereixen suports i fonaments especialment dissenyats per absorbir les vibracions fortes que apareixen. Això és degut a que aquestes enginys inclouen pistons i altres parts mòbils, algunes dels quals es desgasten més ràpidament que els de les màquines purament rotatives fet que comporta un manteniment a intervals curts de temps.

Un dels més comuns d'aquests motors és el “motor de gas”, que utilitza com a combustible el gas natural.

### 4.3. Turbines de gas

El funcionament d'una turbina de gas es basa en la ignició d'un combustible dins d'una cambra de combustió, fet que produeix corrents de gasos a altes temperatures. Aquest volum de gasos, degut a la seva velocitat i pressió, fan girar la turbina i així produeixen energia elèctrica mitjançant un alternador.

Una fracció d'aquest corrent, en el seu pas per la turbina és desviat i com que encara conserva part de la pressió i temperatura inicial, passa a través d'un recuperador de calor, que és un dispositiu capaç de recuperar part d'aquesta energia per escalfar un fluid, com l'aigua en el cas estudiat.

Els motors de gas es caracteritzen pel mateix principi de treball, però tenen el format d'un motor de combustió interna i el combustible és el gas. L'energia tèrmica es pot obtenir a partir de la recuperació de calor dels gasos d'escapament o de la recuperació de calor del sistema de refrigeració del motor.

## 4.4. Turbines de vapor

En aquest sistema, el funcionament es basa en generar vapor d'aigua, amb la font d'energia primària, sota condicions de pressió i temperatura dins d'un escalfador convencional. Aquestes propietats del vapor permeten que accioni la turbina i aquesta alhora mogui un alternador que genera l'electricitat. L'energia tèrmica s'aconsegueix mitjançant la recuperació de la calor dels gasos residuals a la sortida de la turbina de vapor .

És per això que la potència elèctrica produïda depèn de quant és possible reduir la pressió del vapor al seu pas per la turbina ja que l'energia romanent és utilitzada per a energia calorífica.

Per aconseguir una potència generada viable, l'entrada de vapor ha d'estar a una alta pressió i temperatura. La calor residual de sortida és relativament baixa en comparació a l'entrada. Les condicions d'entrada es troben a 42 bar/400°C o 63 bar/480°C. La temperatura necessària pel procés designa les condicions de sortida del vapor. Per altra banda, com més alta és la pressió d'entrada a la turbina, més alta és la producció de potència però també implica unes instal·lacions més sofisticades per resistir les altes pressions. Tot i així, la selecció de la pressió òptima depèn dels requeriments que presenti la situació.

Aquests tipus de cicles típicament produeixen una gran quantitat de calor en comparació amb la producció elèctrica, el que comporta que el cost en termes "€/kWe produït" sigui alt. Per això s'utilitzen per a situacions on es necessita una relació d'energia calorífica a energia elèctrica de 4 a 1 o superior, segons el Manual de Cogeneración para PYMES [2]. No obstant això, la integració d'un incinerador ( cremar un combustible de residus , com els residus clínics , residus agrícoles o residus sòlids urbans) a la unitat de cogeneració que té com a base de funcionament la turbina de vapor pot fer-ho més rendible. Les sortides de potència són generalment superiors a 500 kWe. Per altra banda, la incineració planteja preocupacions sobre la producció d'emissions indesitjables.

Les turbines de vapor es divideixen en dos tipus, d'acord amb la pressió de sortida del vapor de la turbina :

- turbines de contrapressió, en què la pressió de sortida és més gran que l'atmosfèrica

- turbines de condensació, en què la pressió de sortida és menor que l'atmosfèrica i es requereix un condensador .

La instal·lació més simple és la turbina de contrapressió en què tot el vapor flueix a través de la màquina per produir energia i reduir la temperatura del vapor fins al punt que encara se'n pugui extreure energia calorífica. Quan es requereix més quantitat de calor, aquesta és subministrada mitjançant l'extracció de vapor en el seu pas per la turbina, fet que comporta una reducció parcial del flux i això repercuteix en la disminució de la producció elèctrica.

## 4.5. Cicles combinats

Alguns sistemes de gran escala (potència de més de 3 MWe) utilitzen una combinació de turbines de gas i turbines de vapor, on els gasos d'escapament de la turbina de gas s'utilitzen per produir vapor per la turbina.

Els cicles combinats de turbines de gas (CCGT) han estat adoptats per les empreses de serveis públics, on els subministraments de gas natural són abundants: exemples de centrals elèctriques de fins a 1.800 MW. En les aplicacions de cogeneració de cicle combinat, els gasos d'escapament o el vapor de sortida de la turbina de vapor s'utilitzen per al procés de calefacció. El principal avantatge de la cogeneració de cicle combinat és la seva major eficàcia global en la producció d'electricitat, en comparació amb les alternatives descrites anteriorment.

## 4.6. Piles de combustible

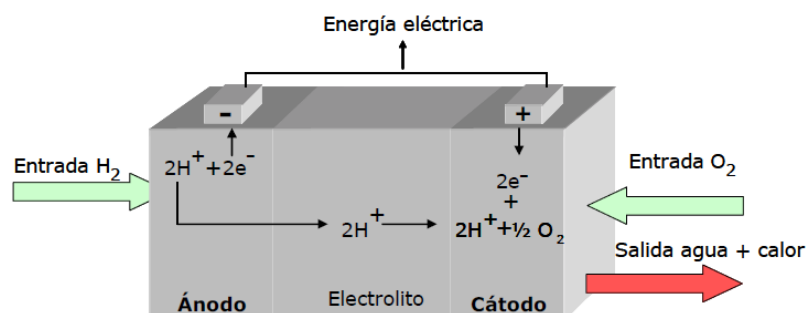
Aquest sistema de cogeneració és exclusiu per la producció d'energia elèctrica i aigua. El sistema es basa en les piles de combustible: són un dispositiu electroquímic que converteix directament l'energia química que conté un combustible en energia elèctrica. Per dur a terme això, dins del seu interior té lloc una reacció electroquímica en la que una substància (com pot ser l'hidrogen) cedeix electrons a una altra (per exemple, l'oxigen). D'aquesta reacció s'obté a part d'electricitat, aigua com a únic subproducte, fet que inicialment se'l pot considerar una font d'energia sense emissions contaminants. Durant el procés també es desprèn calor, a causa de les reaccions exotèrmiques que s'hi donen i posteriorment serà recuperada. A part dels productes esmentats, hi acostuma a haver un altre producte que fa de catalitzador, un material que facilita la reacció. En el cas de l'hidrogen i l'oxigen, el



catalitzador és normalment un fi recobriment de platí sobre un material porós a base de fibres o similars. La porositat del catalitzador fa que la superfície del mateix exposada a l'oxigen i hidrogen sigui alta facilitant la reacció entre ambdós.

Anteriorment s'ha comentat que es podia considerar la pila de combustible com una font d'energia sense emissions contaminants però això generalment no es compleix en el moment que es busca una font de generació d'hidrogen: en aquest moment, apareix integrat en el sistema un processador de combustible encarregat de generar hidrogen pur a partir d'un altre combustible més accessible i transportable. Els processadors de combustible han de realitzar aquest procés d'una manera eficient, en cas contrari els efectes beneficiosos del conjunt processador més pila de combustible es neutralitzarien .

L'obtenció de l'hidrogen es pot fer a partir de gasolina, metanol( els dos més habituals en aplicacions dirigides a l'automoció) , gas natural ( més freqüent en aplicacions estacionàries com la cogeneració ) , etc .



*Figura 1. Funcionament d'una la pila de combustible*

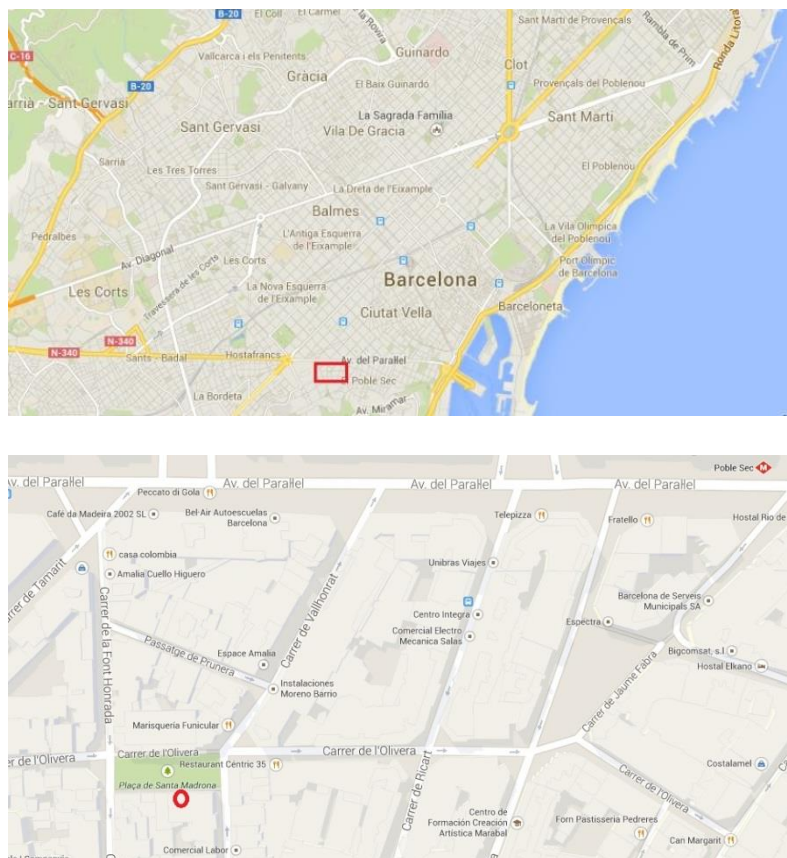
(Extret del programa per a la optimització de l'ús de l'energia de PYME)

Tipus de sistema	Combustible utilitzat	Rang [MWe]	Potència Rang [MWt]
<b>Motor Stirling</b>	Qualsevol combustible	0,001-0,01	0,005 – 0,02
<b>Turbina de vapor</b>	Qualsevol combustible	0,5 - 500	3 - 800
<b>Turbina de gas</b>	GAS,BIOGAS, GASOIL, HFO, LFO, LPG, NAPHTHA	0,25 – 50+	0,3 -150
<b>Motor d'ign. Comp.</b>	GAS, BIOGAS, GASOIL, HFO, LHO, NAPHTHA	0,2 -20	0,3 -60
<b>Motor d'ign. espurna</b>	GAS, BIOGAS, LHO, NAPHTHA	0,003 -6	0,003 -20
<b>Cicle combinat</b>	GAS, BIOGAS, GASOIL, LPG, LFO, NAPHTHA	3- 300+	3- 1500
<b>Piles de combustible</b>	Oxigen+ Hidrogen	0,001 (en sèrie)	0,001

Taula 1. Resum de les alternatives de la cogeneració

## 5. Situació de la bugaderia actual

En aquest treball s'estudia la implantació d'algun dels sistemes de cogeneració esmentats en una bugaderia ja existent. La bugaderia estudiada està situada al barri del Poble Sec de Barcelona, a la plaça de Sta. Madrona, 2. El comerç està situat en una plaça petita que proporciona un ambient de barri proper.



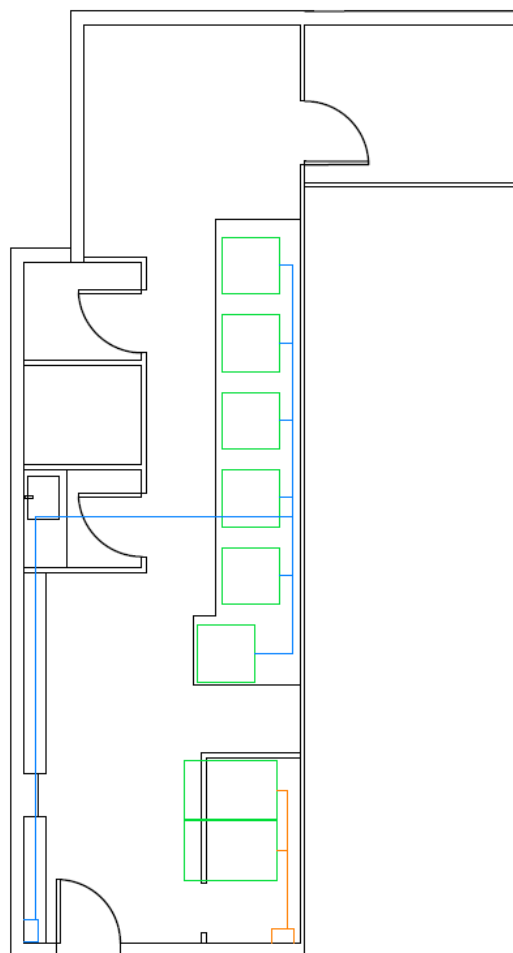
*Figura 2. Plànols de situació de la bugaderia*

Aquest comerç va ser iniciat en aquesta mateixa situació fa més de 60 anys pel pare de l'actual propietària. Al llarg del temps, els tipus de clients principals han anat canviant: a l'inici, el tipus principal de client era el client particular, segurament degut a que electrodomèstics com la rentadora i l'assecadora no estaven estesos dins de les llars. A mesura que canvien els temps aquest tipus de client ha disminuït i ara per ara, el client principal són empreses de lloguer de pisos a turistes, ja que aquests aporten una gran

quantitat de roba en rotació a causa de les estàncies de poca durada dels turistes (especialment, llençols).

La bugaderia actual ofereix serveis de neteja, assecat i planxa de bugada. El servei de neteja el proporcionen 5 rentadores en funcionament (una es troba en desús) i el d'assecat, 2 assecadores on una actualment es troba en desús. Tant les rentadores com l'assecadora estan connectades a un corrent de 220 V trifàsic.

En el plànol de la Figura 3 es veu una vista en planta de la bugaderia, amb la distribució de les rentadores i de les assecadores (color verd). També s'hi pot observar la instal·lació de canonades per la conducció d'aigua fins a les rentadores i l'aigüera (blau) i la conducció de gas natural que connecta amb les dues assecadores (taronja). Cal comentar que el recinte entremig entre les dues sales que s'hi veu, és la representació del pati de llums de l'edifici, fet que s'haurà de tenir en compte a l'hora de contemplar la ventilació de la bugaderia.



*Figura 3. Plànol de la planta de la bugaderia*

## 5.1. Les rentadores

Les 5 rentadores utilitzades en aquesta bugaderia són de tipus industrial (una altra addicional es troba en desús), amb una capacitat de tambor de 100 L. Les rentadores tenen una potència nominal total de 10,6 kW que cobreix el funcionament de la rentadora i l'escalfament de l'aigua mitjançant resistències elèctriques, fet que comporta un augment de potència substancial si es té en compte la gran capacitat que té cada rentadora.

Fent un estudi dels dos programes més utilitzats a la bugaderia, es pot concloure quins són els requeriments energètics per obtenir l'aigua a la temperatura adequada en funció de les necessitats que imposa el rentat. En ambdós casos, l'aigua de rentada és escalfada mitjançant una resistència elèctrica que incorpora la rentadora a 30°C o a 50°C.

El primer procés considerat és el de programa d'aigua freda, resumit en la taula 2, on l'aigua es troba a 30°C en el procés de rentat i en el procés d'esbandida es troba a la temperatura instantània de la xarxa, sense passar per cap procés d'escalfament. Si es té en compte un cabal d'aigua de 10 L/min, que cada ompliment total del tambor és de 45 L, el necessari per a dur a terme el rentat, s'obté:

Programa aigua freda	
Consum d'aigua per rentada	85 L
Consum d'aigua per cada omplerta (rentat)	45 L
Consum total d'aigua en les esbandides	40 L
Temperatura de l'aigua del rentat	30 °C
Temperatura de l'aigua de les esbandides	Provinent de la xarxa
Durada del programa	32 min

*Taula 2. Característiques tècniques del programa d'aigua freda*

S'ha de tenir en compte que durant aquest programa hi ha 3 esbandides consecutives que treballen amb el tambor a un nivell d'aigua mig. Pel que fa el programa d'aigua calenta es troba resumit en la taula 3.

Programa aigua calenta	
Consum d'aigua per rentada	85 L
Consum d'aigua per cada omplerta (rentat)	45 L
Consum d'aigua en les esbandides	40 L
Temperatura de l'aigua del rentat	50 °C
Temperatura de l'aigua de les esbandides	Provinent de la xarxa
Durada del programa	44 min

*Taula 3. Característiques tècniques del programa d'aigua calenta*

Aquest segon programa considerat, el programa d'aigua calenta, l'aigua es troba a 50°C en el procés de rentat, a diferència de les diferents esbandides que també utilitzen l'aigua de la xarxa. Aquest programa és menys usat que l'anterior (es considera que un 10% de les rentades) ja que és un programa dissenyat per a roba difícil de netejar i a l'augmentar la temperatura de l'aigua d'ús, també comporta un augment de consum energètic.

Pel que fa al consum total de l'aigua, es presenta en la taula a continuació: és una estimació del consum d'aigua de les rentadores per cada mes durant els anys 2012 i 2013, si es contempla que la factura d'aigua era trimestral i el mes d'agost, la bugaderia roman tancada per vacances.

Algunes consideracions que s'han de fer de la taula 4 és que durant l'agost no hi ha facturació, i per tant el consum és degut al Juny i al Juliol, que són els mesos de més consum. Pel que fa al període Setembre-Desembre es pot concloure que són els mesos de menys treball. Com es pot també observar a la taula 4, el comportament és cíclic al llarg de

l'any ja que no existeixen grans diferències per a mateixos períodes de l'any i a més, sí que s'observa augments i disminucions per als mateixos períodes.

Consum aigua per mes	m <sup>3</sup> (2012)	m <sup>3</sup> (2013)
<b>Gener</b>	6,333	6
<b>Febrer</b>	6,333	6
<b>Març</b>	6,333	6
<b>Abril</b>	6,667	7
<b>Maig</b>	6,667	7
<b>Juny</b>	6,667	7
<b>Juliol</b>	10,5	10
<b>Agost</b>	0	0
<b>Setembre</b>	10,5	10
<b>Octubre</b>	4,333	4,667
<b>Novembre</b>	4,333	4,667
<b>Desembre</b>	4,333	4,667

*Taula 4. Consum mensual d'aigua durant 2012 i 2013*

## 5.2. Les assecadores

Les assecadores són del tipus de gas natural i degut a les seves grans mides són considerades com a assecadores industrials. Així doncs, eliminen la humitat residual de la roba després del procés de rentat i centrifugat, i per fer-ho mantenen un flux regular d'aire calent que travessa la roba. Les assecadores de gas disposen d'una potència tèrmica proporcionada pel gas de 44 kW i la potència necessària per a accionar el tambor i el ventilador és aproximadament de 0,75 kW.

Un dels avantatges que ens proporcionen aquest tipus d'electrodomèstics és que la potència elèctrica necessària disminueix i tot i aparèixer la despesa del gas natural, aquest té un preu més baix que l'energia elèctrica.

L'aportació de calor s'efectua, en general, mitjançant un sistema que consta d'un cremador atmosfèric de gas, un conjunt d'electrovàlvules que controlen el pas de gas i els dispositius d'encesa i vigilància de la flama.

El seu funcionament es basa en la injecció d'aire calent a dins del tambor procedent de la cambra de combustió, on s'ha barrejat amb el gas en combustió. Un cop dins del tambor i en contacte amb la roba es generen turbulències que optimitzen l'assecat. Un ventilador centrífug provoca aquests corrents i elimina l'aire calent i els vapors que produeix l'assecat per dirigir-los a l'exterior.

En el cas de la bugaderia estudiada, aquesta sortida d'aire calent i gasos està situada cap a l'exterior de l'edifici, a la plaça.

L'assecadora que està en ús és de la marca GIRBAU® i té aproximadament 8 anys. S'utilitza entre 3-6 vegades al dia en funció del volum de feina. El període de funcionament és entre 10 i 20 minuts en funció de la quantitat i tipus de càrrega. El número d'usos de l'assecadora va fortament lligat al número de rentadores, ja que és el procés d'assecat principal, el més utilitzat per comoditat i per falta d'espai, a diferència de l'estesa de la roba per exemple.



## 5.3. Requeriments energètics

### 5.3.1. Requeriments energètics elèctrics

Per l'estudi de l'electricitat necessària s'ha de tenir en compte que la bugaderia utilitza dos tipus de corrents en funció del dispositiu final. Per als electrodomèstics com l'assecadora i les rentadores, s'abasteixen a partir de la xarxa trifàsica de 220 V, i per altra banda, l'enllumenat i altres dispositius de la bugaderia a partir de la xarxa alterna monofàsica.

Així doncs, la suma del consum de la xarxa monofàsica és de 110 kWh per cada any del qual s'ha recopilat dades (2012 i 2013) i el consum d'energia provinent de la xarxa trifàsica és d'un total de 1900 kWh i 1950 kWh cada any.

### 5.3.2. Requeriments energètics calorífics

Per fer el càlcul de la potència calorífica necessària es fa en base al volum d'aigua utilitzada per a les rentadores. Per fer aquest càlcul, es parteix de les dades extretes d'aigua consumida durant dos anys, amb una factura cada 3 mesos i els perfils dels programes que s'han tingut en compte en l'apartat de les rentadores.

Per fer el càlcul de la calor necessària per escalfar l'aigua s'utilitza la fórmula, on  $m$  és la massa (que s'extreu a partir del volum) que té aquesta variació de temperatura, en kg, i  $C_p$  és el valor de calor a pressió constant, de 4,18 kJ/(kg·K):

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_F - T_I) \quad (\text{Eq.1})$$

On s'utilitza com a  $T_I$ , la temperatura mitjana de l'aigua freda de les canonades de la xarxa de Barcelona, tal com s'indica en l'Ordenança Solar de Barcelona [3] i s'indica en la taula 5.

Pel que fa la  $T_F$ , es refereix a la temperatura d'ús de l'aigua en el moment de la rentada, el qual es considera que serà de 30°C per un 90% del seu ús i el 10% restant a una temperatura de 50°C, que seria el considerat com el percentatge de rentades amb aigua calenta.

A partir d'aquí s'obté la calor necessària per escalfar l'aigua. En aquest càlcul s'ha de tenir en compte que, a partir del format dels programes de rentat estudiats, es denota que només la meitat de l'aigua utilitzada passa per un procés d'escalfament, que seria la utilitzada pel

rentat principal, ja que la resta és utilitzada en els processos d'esbandida i presa directament de la xarxa. A l'hora de calcular la potència instantània, s'extreu a partir de considerar un cabal de 10 L/min i dues situacions, on la temperatura final és de 30 °C i 50°C.

Mes	kW (30°C)	kW (50°C)
<b>Gener</b>	13,77	27,72
<b>Febrer</b>	13,45	27,41
<b>Març</b>	12,29	26,25
<b>Abril</b>	11,06	25,02
<b>Maig</b>	9,33	23,29
<b>Juny</b>	7,40	21,36
<b>Juliol</b>	6,34	20,30
<b>Agost</b>	-	-
<b>Setembre</b>	5,91	19,87
<b>Octubre</b>	7,63	21,58
<b>Novembre</b>	10,50	24,46
<b>Desembre</b>	12,77	26,73

*Taula 5. Càlcul de la potència subministrada a l'aigua per les rentades*

Mes	T <sub>i</sub> [°C]	T <sub>F</sub> (90%) [°C]	T <sub>F</sub> (10%) [°C]	kJ(2012)	kJ(2013)
<b>Gener</b>	10,27	30	50	576228,897	545901,06
<b>Febrer</b>	10,72	30	50	564295,947	534596,16
<b>Març</b>	12,39	30	50	520011,443	492642,42
<b>Abril</b>	14,15	30	50	498253	523165,65
<b>Maig</b>	16,63	30	50	429027,933	450479,33
<b>Juny</b>	19,39	30	50	351987,133	369586,49
<b>Juliol</b>	20,91	30	50	487555,215	464338,3
<b>Agost</b>	22,44	30	50	0	0
<b>Setembre</b>	21,53	30	50	460297,845	438378,9
<b>Octubre</b>	19,07	30	50	234597,61	252643,58
<b>Novembre</b>	14,95	30	50	309349,517	333145,63
<b>Desembre</b>	11,7	30	50	368316,433	396648,47

*Taula 6. Càlcul de l'energia mitjana subministrada cada mes*

### 5.3.3. Consum de gas per l'assecadora

Per l'estudi del consum de gas, s'ha de considerar que la combustió del gas de l'assecadora aporta una potència de 44 kW, fet que si es considera que cada  $\text{m}^3$  aporta una calor de combustió de 50025 kJ/kg (si s'assimila a gas metà, com a component principal), s'obté que el cabal de gas que es combustiona és de 0'88 g/s aproximadament. Una vegada el gas natural combustiona, es barreja amb un cabal d'aire que rep part de la potència calorífica, per aconseguir una temperatura de 50 a 80 °C depenent del programa d'assecat seleccionat, per ser introduït en el tambor on hi ha la roba.

Cada programa d'assecat, té una durada mitjana de 15 min, 6 dels quals es consumeix el gas natural esmentat per a produir calor, i els altres minuts restants només funciona el motor giratori.

Això comporta un consum de 406,8 L/assecada i si es contempla que s'utilitza tantes vegades com les rentadores (811 rentades) es té un consum anual de 330  $\text{m}^3$ .

## 6. Normativa vigent

Per a la instal·lació d'un sistema de cogeneració en la bugaderia s'ha de complir un seguit de condicions per tal que el treball estigui ben dissenyat i no presenti fallades; algunes d'aquestes són d'obligat compliment i vénen dictades per la normativa a nivell autonòmic i estatal. A més a més, són també unes directrius bàsiques per les quals guiar-se per al disseny tal i com es pot observar en aquest apartat.

En un primer terme, s'ha de tenir en compte la directiva 2004/8 que té com objectiu crear un marc de suport que afavoreixi el disseny de plantes de cogeneració que satisfan una demanda de calor útil justificada, com el cas estudiat. Es basa en els principis següents:

- La mesura de l'eficiència del procés de cogeneració sobre la base de la demanda de calor econòmicament justificada en el procés. És a dir, en el cas que apareguin altes pèrdues entre el calor generat i el punt on s'utilitza, l'eficiència disminueix considerablement. Per això, no és solament qüestió de produir calor sinó que en el transport s'han d'evitar les pèrdues.
- En el procés de dimensionament de la instal·lació es dóna prioritat a la demanda de calor útil que no d'energia elèctrica.

### 6.1. Ajudes i retribucions especials per a cogeneració d'alta eficiència

A part de les consignes que afecten a tots els efectes col·laterals que pugui comportar la instal·lació d'un sistema com aquest, des de la legislació també es fica restriccions d'eficiència pels sistemes implantats, tal i com indica la normativa vigent del Real Decreto 413/2014 [7]. Qualsevol sistema de generació d'energia en règim especial ha de complir uns requeriments d'estalvi d'energia elèctrica. Per assegurar-ho, la normativa vigent determina dos coeficients de compliment mínim per poder accedir a les ajudes i retribucions per a generació d'electricitat en règim especial. Aquest dos coeficients són el Rendiment d'Eficiència Energètica (REE), que en el cas de cogeneració de gas natural per a potències inferiors de 1 MW és de 45%; i el Primary Energy Savings (PES, estalvi d'energia primària) que és l'estalvi d'energia primària en percentatge i ha de ser superior al 10 %.

## 6.2. Retribucions econòmiques per generació d'energia

Pel que fa a les retribucions econòmiques, en el cas que s'utilitzi gas natural com a font d'energia primària per a la cogeneració, la normativa marca que la venda d'energia elèctrica a la xarxa és de 12,04c€/kWh, per a potències inferiors de 0,5 MW (en el cas de microgeneració), complint la condició de Rendiment Elèctric Equivalent (REE) tal i com s'indica en RD 661/2007[4]. A més, aquesta taxa també varia en funció del període de funcionament, per una discriminació horària si és període punta o període vall del dia, que es diferencien en funció de l'època de l'any. La tarifa regulada esmentada anteriorment s'ha de multiplicar per 1,37 per al període punta i 0,64 per al període vall.

Hivern		Estiu	
Punta	Vall	Punta	Vall
11 -21 h	21 -24 h i 0 -11 h	12 -22 h	22- 24 h i 0-12 h

*Taula 7. Diferenciació dels períodes Punta i Vall al llarg del dia*

## 6.3. Límit d'emissions de gasos contaminants

Aquest àmbit s'ha de tenir en compte ja que en moltes de les alternatives que es plantegen es produeix la combustió de gas i per tant, comporta emissions de gasos que tenen un efecte negatiu sobre l'ambient exterior. És per això, que s'ha de contemplar la legislació vigent en qüestió d'emissions per la combustió de gas, tal com s'assenyala en Decret 319/1998[5]. En aquest cas, s'especifica uns límits d'emissió, expressats en les taules 8 i 9 en mg/Nm<sup>3</sup> i referits a un contingut d'oxigen del 15%. Per a motors de combustió externa, els valors límits d'emissió són

Contaminant	Límit d'emissió (mg/Nm <sup>3</sup> )	Característiques específiques de la instal·lació
Òxids de sofre (expressats com a SO <sub>2</sub> )	300	gasos procedents de processos industrials
Òxids de nitrogen (expressats com a NO <sub>2</sub> )	450	
Monòxid de carboni	100	
Compostos orgànics (expressats com a COT)	20	gasos procedents de processos industrials

*Taula 8. Límits d'emissió de gasos per a combustió externa*

I en el cas de motors de combustió interna que funcionen amb combustible gasós, els valors límit d'emissió són

Contaminant	Límit d'emissió (mg/Nm <sup>3</sup> )	Característiques específiques de la instal·lació
Òxids de sofre (expressats com a SO <sub>2</sub> )	300	gasos procedents de processos industrials
Òxids de nitrogen (expressats com a NO <sub>2</sub> )	3.000	Instal·lacions de cicle Dièsel
	1.500	Instal·lacions de cicle Otto
Monòxid de carboni	1.000	
Compostos orgànics (expressats com a COT)	20	gasos procedents de processos industrials

*Taula 9. Límits d'emissió de gasos de combustió interna*

Pel que fa al disseny de xemeneies, la normativa no especifica cap model en concret ja que la instal·lació que es planteja tindrà una potència tèrmica inferior a 2,3MWt per combustió de gas.

## 6.4. Límit de sorolls i vibracions

A l'hora d'instal·lar aquests motors, s'ha de tenir en compte que comporten problemes de sorolls i vibracions, principalment, a causa dels moviments que produeix el motor a l'hora de generar energia elèctrica mitjançant l'accionament de l'alternador. És per això, que s'ha de contemplar la normativa relativa a aquests aspectes, que queda regulada per l' ordenança de soroll i vibracions [6], on es remarca que els comerços com les bugaderies que pertanyen al grup III, on el màxim establert de soroll és de 85-89 dB per a evitar molèsties al veïnat dels edificis residencials del voltant.

## 7. Explicació de l'alternativa seleccionada

A partir de les dades recollides dels requeriments energètics i la disponibilitat d'espai, el procediment que sembla més adequat és la instal·lació d'un motor de combustió de gas natural. Això és degut a la baixa potència que necessita tot el sistema d'escalfament d'aigua per la bugaderia, si es compara amb el dimensionament que poden arribar a tenir les altres alternatives, com és el cas de cicles combinats o les turbines de vapor, que el seu rang es troba en centenars o milers de kW, molt superior al necessari per cobrir aquest projecte.

Altres opcions, com el motor Stirling s'ha desestimat per la potència tèrmica que pot arribar a produir, ja que en alguns casos (sobretot els més extrems, com és el cas del moment de l'aigua més freda durant els mesos d'hivern) podria arribar a ser insuficient. També l'opció de les piles de combustible s'ha descartat per l'alt preu que comportaria instal·lar un sistema que abastés totalment la demanda de potència calorífica.

A més a més, a l'alternativa seleccionada també s'ha contemplat que la instal·lació de gas està implementada en la bugaderia actual i s'utilitza el gas natural per a l'assecadora actualment en ús, fet que comporta que l'accés al gas natural utilitzat com a combustible és inicialment més fàcil.

Una vegada seleccionada l'opció que s'adapta més a l'escenari que presenta el treball es tracta de trobar una solució per materialitzar aquest projecte. A partir de les previsions fetes per als requisits d'energia elèctrica i calorífica, també s'ha de tenir en compte de ser viable econòmicament i que sigui adequat per l'espai dins de la bugaderia i per a les hores de possible funcionament del sistema de cogeneració que són les hores d'obertura de la bugaderia.

<b>Horari (dissabte només matí)</b>	10:00-14:00 16:00-20:00
<b>Hores diàries</b>	8 h
<b>Dies</b>	5,5 dies/setmana

*Taula 10. Obertura de la botiga*



La implantació del sistema de cogeneració en la bugaderia es realitza dissenyant un sistema centralitzat d'escalfament l'aigua per les rentadores ja que en el cas de l'aigua utilitzada per la pica no hi ha demanda d'aigua calenta. És per això, que es planteja un sistema d'aigua que pugui cobrir les necessitats i instal·lar-la dins de la bugaderia. Això, comporta certs canvis en el sistema de funcionament de les rentadores, ja que fa prescindir de les resistències elèctriques per aconseguir l'aigua calenta que és aportada per la unitat de cogeneració.

Pel que fa a l'energia elèctrica s'utilitza pel funcionament del sistema de rentat i assecat i pel funcionament del mateix sistema de cogeneració.

## **7.1. Descripció general de la planta de microcogeneració seleccionada**

El projecte per la implantació del sistema de microcogeneració consta principalment dels següents equips:

- Un motor de 33 kW de potència elèctrica amb el qual es genera l'energia elèctrica
- Un generador elèctric acoblat al motor
- Instal·lació elèctrica connectada de l'equip motor-generador als electrodomèstics i l'enllumenat
- Una cambra de combustió formada pels 4 cilindres que formen part de la unitat de cogeneració
- Un intercanviador de calor, encarregat d'aprofitar la potència calorífica dels gasos de combustió.
- Quadre elèctric, que en una instal·lació elèctrica és el panell o conjunt de panells on es troben els interruptors, els curtcircuits, les barres de corrent i els comptadors; permeten efectuar el control i protecció del circuit elèctric
- Sistema de control que aconsegueix les funcions d'encesa i apagada de la unitat de cogeneració, a més de monitoritzar tot el conjunt de la instal·lació per detectar possibles situacions de perill
- Un acumulador d'aigua de 100 L de capacitat per a acumular l'ACS
- Una cambra de mescles, encarregat d'aprofitar la potència tèrmica dels gasos de combustió per a les assecadores

D'aquesta manera, el motor duu a terme la combustió del gas natural i amb la calor generada, s'escalfa el cabal d'aigua que s'anirà acumulant en un dipòsit aïllat tèrmicament. Part dels gasos de combustió també seran utilitzats per ser mesclats amb aire i reconduïts a l'assecadora, per completar el procés d'assecat.

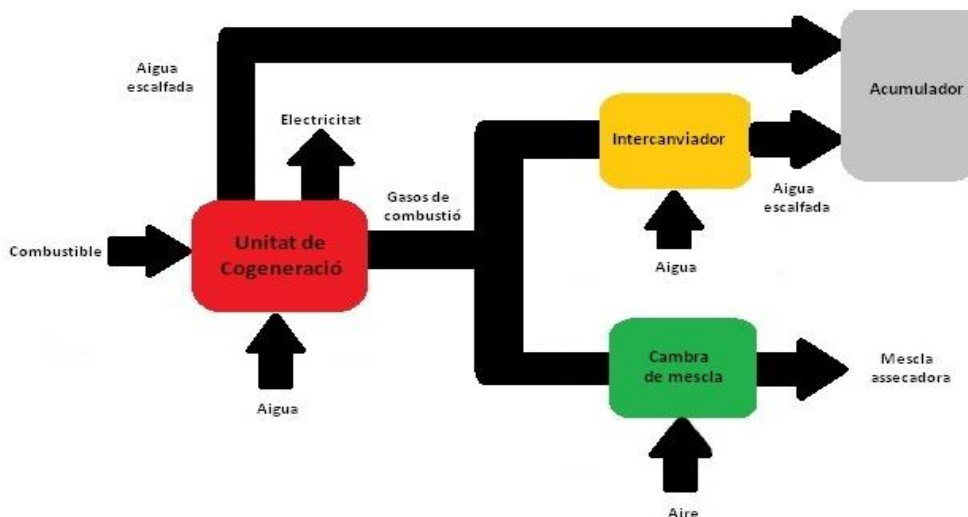


Figura 4. Esquema del sistema dissenyat

### 7.1.1. La unitat de cogeneració

La unitat de cogeneració és el mòdul que inclourà la càmera de combustió, l'alternador i el sistema d'escalfament d'aigua que s'utilitza com a refrigerant.

En aquest treball s'ha elegit el model CHP OEKO 33 G de la firma Sommer Energy. Aquest model té una potència calorífica nominal de 55 kW i una potencia energètica nominal de 33 kW. Aquesta potència nominal calorífica queda distribuïda en dos fluids que seran els receptors de calor: Aquest model s'ha seleccionat per la potència calorífica que produeix, ja que és suficient per cobrir les necessitats calorífiques de l'aigua i de l'assecadora. Altres models de la mateixa marca tenien capacitats superiors (que hi hauria un excés de calor produïda) o inferiors (que hi hauria manca de calor). Un altre de les raons que també han propiciat aquesta elecció és que el gas natural com a combustible, ja que així s'aprofita la connexió que actualment hi ha per a les assecadores.

L'aigua refrigerant rep 29 kW de potència calorífica, fet que comporta que la temperatura de sortida és de 80-88 °C. Per altra banda, els gasos de combustió també són receptors

d'aquesta energia calorífica, de 26 kW i la temperatura de sortida de la unitat és de 525 °C, per un cabal de 212 kg/h.

Pel que fa la generació d'energia elèctrica, es duu a terme mitjançant el motor instal·lat dins de la central de cogeneració: aquest motor de combustió està format per 4 cilindres de 4,58 L i amb el moviment del cigonyals produeixen el moviment necessari perquè l'alternador produeixi una tensió de 400 V alterna trifàsica a 50 Hz.

Aquesta unitat de cogeneració es planifica que se situa en l'habitable situat al final de la bugaderia, que queda darrera les rentadores, per raons d'espai ja que d'aquesta manera també s'hi pot incloure la cambra de mescles i l'intercanviador de calor. . L'espai lliure és de 6,66 m<sup>2</sup> (3m x 2,22m), suficient per encabir el sistema de cogeneració. Amb aquesta situació, s'instal·len també les connexions d'aigua, de gas natural i les de sortida de gasos de combustió tal i com es pot veure en l'annex V, dins del 3r plànol.

### **7.1.2. Dipòsit acumulador d'ACS**

El dipòsit acumulador d'aigua és un element imprescindible per a la instal·lació de tot el sistema d'escalfament d'aigua. L'objectiu és disposar d'aigua calenta en tot moment que es pugui produir la demanda i per tant, no sigui necessari que el motor es posi en funcionament en cada instant que aparegui la necessitat d'aigua calenta. A més a més, també pot ser una solució temporal quan la demanda d'aigua instantània sigui superior a la producció d'aigua calenta que produirà el motor. D'aquesta manera, la calor útil produïda s'utilitza i s'emmagatzema en forma d'aigua calenta dins del dipòsit. La capacitat d'emmagatzematge energètic depèn del volum de l'acumulador i el seu disseny es basa en reduir el màxim possible les pèrdues energètiques i per això és un factor decisiu l'aïllament tèrmic.

La seva funció principal és, en la situació que hi hagi demanda de gasos de combustió per part de l'assecadora, engegar tot el sistema i el gas natural processat serà utilitzat per produir aigua escalfada en el dipòsit.

Per dimensionar la capacitat de l'acumulador s'ha calculat la quantitat d'aigua que es pot arribar a escalfar durant tot el procés d'assecat, ja que aquest comporta un consum de gasos de combustió. Així, s'aprofita part de l'energia calorífica per produir aigua calenta que seria utilitzada posteriorment.

És per això, si el cabal d'aigua del refrigerant que es produeix durant l'ús de l'assecadora que és de 6 min de consum de combustió de gas natural, es produeix un volum de 36 L d'aigua a una temperatura de 84 °C, inicialment es dimensiona l'acumulador d'aigua perquè pugui absorbir el volum d'aigua produït en 2 usos d'assecadores consecutives, que es considera el cas extrem sense fer ús de rentadores.

D'una altra banda, per poder aprofitar l'alta energia calorífica dels productes de combustió part d'aquest cabal transfereix la seva calor a través d'un intercanviador que al llarg dels 6 minuts de combustió necessaris per cada programa d'assecat produeixen un total de 11 L a 84 °C que també són dirigits a l'acumulador.

En el total dels dos usos de les assecadores es produeix un volum de 94 L d'aigua escalfada que es calcula que seran acumulats en un dipòsit de 100 L aïllat tèrmicament.

Per evitar les pèrdues, l'acumulador està compost per espuma de poliuretà rígid, que manté la calor que ha rebut l'aigua durant la combustió, en el cas de fins a 50 °C durant gairebé 10 hores i per al cas de 30 °C fins a 30 hores en el cas del dipòsit ple i en per al dipòsit mig ple, el cas de fins a 50 °C durant gairebé 6 hores i per al cas de 30 °C fins a 13 hores. A partir d'aquell moment l'aigua acumulada ja no és útil per a les rentadores. Així doncs, la capacitat que cobreix l'acumulador és l'especificada en les taules 11 i 12:

Període després de la combustió	Capacitat d'abastiment
10 hores	2 rentadores a 50 °C
	3 rentadores a 30 °C *
30 hores	2 rentadores a 30 °C

*Taula 11. Capacitat de l'acumulador per al cas de dipòsit mig ple (90 L)*

\*Es considera la capacitat calorífica acumulada

Període després de la combustió	Capacitat d'abastiment
6 hores	1 rentadora a 50 °C
13 hores	1 rentadora a 30 °C

*Taula 12. Capacitat de l'acumulador per el cas de dipòsit ple (45 L)*

### 7.1.3. Intercanviador de calor

Aquest intercanviador és dissenyat per aprofitar el cabal de gasos de combustió que cobreixen amb escreix la demanda de les assecadores i poder-lo aprofitar així per la producció d'aigua calenta. Es calcula poder escalfar un cabal de 0,03 L/s que al llarg del temps d'ús produeixi un volum d'11 L a 84 °C. Per això, es desvia un 60% del cabal dels productes de combustió, que mitjançant l'intercanviador de plaques transmet potència calorífica a l'aigua; fet que ocasiona que la temperatura de sortida dels gasos sigui de 270°C.

### 7.1.4. Cambra de mescla

La cambra de mescla és un sistema d'escalfament d'aire per a l'ús de l'assecadora. Per això, el cabal dels productes de combustió que no es dirigeixen a l'intercanviador (40 % restant). Aquest cabal entra dins de la cambra de mescla on es barreja amb un cabal d'aire ambient (a 25 °C) per poder assolir la temperatura necessària per l'assecat. El cabal màssic d'aquest aire és aproximadament de 230 g/s, que varia en funció del programa seleccionat a l'assecadora, per a temperatures de 50 a 80 °C.

### 7.1.5. Sistema de control

El sistema de control és general per a tota la planta ja que ha d'activar i desactivar el funcionament de la unitat de cogeneració en funció de les comandes que es vulguin dur a terme a la bugaderia.

L'encesa de la planta de cogeneració es produeix sota el cas de la comanda de producció de gasos de combustió per al procés d'assecat o en el cas que no hi hagi aigua acumulada per a la rentadora la unitat de cogeneració s'encén durant un període curt per abastir la rentadora instantàniament.

En el primer cas, el sistema de control està connectat a l'encesa de l'assecadora, que en aquest moment envia l'ordre a la planta perquè iniciï la combustió de gas natural per un cabal determinat, que part del qual serà el necessari per ésser barrejat amb l'aire exterior i així produir la mescla que s'introdueix en el tambor de l'assecadora i una altra part és utilitzat per escalfar aigua en l'intercanviador. A més a més, el sistema de control també obre el pas a aigua utilitzada com a refrigerant provinent de la xarxa per ser escalfada i aprofitar la potència calorífica de la combustió, que serà acumulada en forma d'aigua per a l'acumulador.

Tal i com s'ha comentat, l'acumulador està dimensionat que acumuli aigua suficient per cobrir la demanda de les rentadores sense que sigui necessària l'encesa de la unitat de cogeneració. Aquest plantejament és per poder aprofitar en totes les situacions el màxim poder calorífic dels gasos de combustió ja que en el cas d'ésser necessària l'encesa de tot el sistema de cogeneració per a la producció d'aigua calenta part dels gasos de combustió seria desaproveitada.

A més a més, també hi haurà un control instantani de l'aigua de l'acumulador i que en el moment de demanda estarà connectada a una vàlvula reguladora del pas de cabal d'aigua a temperatura ambient. Aquest sistema és necessari per obtenir l'aigua a la temperatura necessària mitjançant la barreja de l'aigua de l'acumulador i la temperatura de l'aigua del sistema de canonades, ja que la temperatura de l'acumulador és superior a la dels requeriments dels programes de les rentadores.

En el segon cas, el funcionament del sistema de cogeneració es posa en marxa un temps de 2 o 3 minuts (en funció del programa de la rentadora necessària) i així aporta un volum d'aigua a 84 °C determinat que es barreja posteriorment amb aigua de la xarxa per assolir la

temperatura adequada. Aquesta casuística se suposa que es donarà només en els casos del principi de la jornada de la setmana, moment en el qual l'acumulador no ha tingut suficient capacitat per a mantenir l'aigua escalfada a nivells útils per les rentadores.

## **7.2. Eliminació dels productes resultants**

Els productes de combustió generats després de passar pels dos processos de recuperació de calor (intercanvi de calor per a l'aigua i l'ús de l'assecadora) són expulsats a l'exterior, a través de la façana per la sortida de fums que ja hi ha instal·lada. Es considera aquesta possibilitat ja que compleix la normativa vigent de trobar-se a una altura superior a 2,20 m i a més de 40 cm de qualsevol obertura de la façana (sistemes de ventilació, finestres i portes). El cabal és el provinent de l'assecadora de 253 g/s entre una temperatura de 40 a 70 °C i el cabal provinent de l'intercanviador de 35 g/s a una temperatura de 270 °C.

## **7.3. Manteniment**

Per a mantenir la maquinària en bones condicions i degut a les altes velocitats que adquireix ( $1500 \text{ min}^{-1}$ ) especialment en el cas dels cilindres, la unitat de cogeneració té un sistema de lubricació durant el seu funcionament. Aquest sistema està compost per un dipòsit de lubricant que es va subministrant a raó de 0,02 kg/h. També pel que fa al manteniment s'ha de tenir en compte que totes les parts que conformen la unitat de cogeneració són accessibles per la neteja pel personal especialitzat, que es recomana una vegada cada 2 anys.

Altres components de la instal·lació, com l'acumulador també tenen obertures especials que en faciliten la revisió i el manteniment.

## 8. Impacte ambiental

La implantació d'un sistema de cogeneració implica un seguit de beneficis que aposten per una preservació del medi ambient i un canvi del model energètic que impera actualment:

- Augment de l'eficiència de la conversió de l'energia i el seu ús
- Disminució d'emissions de gasos al medi, especialment de CO<sub>2</sub>, un dels cabdals en l'efecte hivernacle així com SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>
- Oportunitat per tirar endavant una forma de generació d'electricitat descentralitzada, on la planta es dissenya per satisfer les necessitats dels clients locals fet que comporta altes eficiències, evita pèrdues per transmissió i incrementa la flexibilitat de l'ús del sistema.
- Millora de la seguretat de subministrament a nivell local: la generació local a través de la cogeneració pot reduir el risc dels consumidors de falta d'abastiment d'electricitat o calor.
- Reducció de la dependència del petroli i de les importacions exteriors.

En el cas dels gasos d'efecte hivernacle, les emissions que provoca la unitat de cogeneració durant el seu funcionament són de 250 mg/Nm<sup>3</sup> per a NO<sub>x</sub> i 200 mg/Nm<sup>3</sup> de CO, que en cap dels dos casos supera els límits de la legislació actual per aquest projecte, que se situen en 1500 mg/Nm<sup>3</sup> per a NO<sub>x</sub> i 1000 mg/Nm<sup>3</sup> per a CO.

Pel que fa a l'aspecte del possible soroll que pugui causar la nova instal·lació, ja es contempla dins del disseny de la unitat que inclourà una coberta per la insonorització, que disminueix a 56 dB(A) a distància de 1 m, ja que a la superfície de la unitat és de 97,7 dB(A).



## 9. Impacte econòmic

Com molts dels projectes de caràcter energètic, aquest treball s'ha vist motivat per qüestions mediambientals i econòmiques. En aquest apartat s'analitza tot el referent als aspectes econòmics que envolten tot el treball: el pressupost del projecte i el posterior balanç econòmic per la recuperació de la inversió inicial.

### 9.1. Estudi econòmic

El plantejament amb el que s'enfoca aquest estudi es basa en la comparació de les inversions de dues situacions, en els dos casos es proposa una renovació del sistema de rentadores i assecadores. Aquesta situació es planteja en el cas actual degut a tres raons: la primera és el número de rentadores que es té i al baix percentatge de temps en ús que presenten ja que la plantilla de rentadores està sobredimensionada per la demanda actual; en segon lloc per la necessitat de disminuir els costos de manteniment que han anat augmentant al llarg del temps per l'antiguitat dels electrodomèstics i en tercer lloc, canviar l'assecadora que actualment està en desús per evitar possibles colls d'ampolla en el procés de rentat i assecat. Per tal de donar una possible solució a la situació, l'estudi es fa en base en la comparació de dues casuístiques:

En el primer cas, es planteja mantenir el mateix funcionament que hi ha actualment: això comporta que l'escalfament d'aigua per les rentadores es continuaria produint mitjançant resistències elèctriques i no hi hauria generació d'energia elèctrica. En aquest cas, només hi hauria millores en el consum d'energia elèctrica ja que els models nous de rentadores seleccionats serien d'alta eficiència i el consum de gas natural es consideraria constant, ja que el número d'assecades es mantindria i la càrrega de treball quedaria dividida entre les dues assecadores en funcionament.

En el segon cas, es planteja instal·lar tot l'estudi fet anteriorment de la unitat de cogeneració i l'acumulador d'aigua. Així doncs es planteja una disminució del consum d'energia elèctrica i per altra banda, un augment del consum de gas natural ja que també és utilitzat per l'escalfament d'aigua a part de l'actual consum de les assecadores. Com s'ha comentat anteriorment, les rentadores i les assecadores han de ser substituïdes degut a la centralització de la producció d'aigua calenta i de gasos de combustió, ja que a diferència del panorama actual aquests dos productes no són generats independentment per a cada

electrodomèstic sinó que la seva producció es troba centralitzada en el sistema de cogeneració.

#### **9.1.1. Estudi del cas 1**

En aquest primer cas es planeja dimensionar el número de rentadores per la demanda real: la solució que es planteja és substituir les 5 rentadores en funcionament per 3 rentadores que s'assimilarien a un mateix consum d'aigua i de l'electricitat. Dins d'aquesta alternativa també s'ha de contemplar la implantació de dues noves assecadores de gas per substituir l'actual en desús i així augmentar la capacitat d'assecat de la bugaderia en moments puntuals. El sistema d'escalfament d'aigua continuaria sent independent per a cada rentadora mitjançant les resistències internes.

Per aquesta alternativa, s'ha tingut en compte el consum total actual, ja que les rentadores i assecadores serien de capacitat similar.

#### **9.1.2. Estudi del cas 2**

En aquest segon cas també es planeja dimensionar el número de rentadores per la demanda real: la solució que es planteja és substituir les 5 rentadores en funcionament per 3 rentadores que s'assimilarien a un mateix consum d'aigua però a una disminució de l'electricitat consumida i que comportarien un consum addicional de gas natural. Dins d'aquesta alternativa també s'ha de contemplar la implantació de dues assecadores que tinguin la combustió descentralitzada (en aquest cas en la unitat de cogeneració) una per substituir l'actual en desús, i l'altra per augmentar la capacitat d'assecat de la bugaderia. A més de la unitat de cogeneració, també s'ha de contemplar la instal·lació de les noves conduccions que apareixen en aquest nou sistema de gestió de l'energia i els altres components del sistema, com són l'intercanviador de calor, l'acumulador i la cambra de mescles.

## 9.2. Pressupostos

Com en la majoria dels casos que suposen un canvi en el model energètic, aquestes treballs no són adequats per plantejar-se una inversió financera recuperable a curt termini, sinó que es preveuen recuperacions i reduccions de costos a mitjà i a llarg termini. És per això, que la inversió presenta a uns costos inicials d'instal·lació alts en comparació amb la recuperació que es preveu.

Una vegada plantejada la instal·lació d'una de les dues alternatives, es pot considerar que la inversió necessària per adoptar el sistema de cogeneració esmentat es veu reduïda pel cost de l'alternativa 1, ja que es planteja com una renovació necessària i per tant, es parteix de la base que el cost mínim de la renovació de la bugaderia seria el de la primera alternativa, tal i com es mostra en la taula 13(aquests pressupostos estan més detallats en l'annex III). A més a més, també s'ha de tenir en compte que l'alternativa 2 ha d'incloure el treball d'instal·lació de tot el sistema que afegeix un cost extra de 1000 €. Finalment, puja la inversió total a 15300 €.

<b>ALTERNATIVA 1</b>	7700 €
<b>ALTERNATIVA 2</b>	22000 €
<b>Inversió real</b>	15300 €

*Taula 13. Pressupostos de les dues casuístiques presentades*

A més dels béns materials i la seva instal·lació, els dos casos han d'incloure un estudi d'enginyeria que s'ha fet per poder dissenyar el projecte; que considerant un treball de 135 h a 20 €/h, passa a ser un total de 2700 €.

## 9.3. Balanç econòmic

A l'hora de tenir en compte els beneficis de la implantació del sistema de cogeneració s'ha de contemplar diversos aspectes econòmics que comporten: en un primer lloc, la disminució del consum d'electricitat; un augment del consum de gas natural i finalment, la venda de potència elèctrica produïda. En aquest apartat es fa un resum dels comptes finals dels 3 aspectes comentats que es troben més detallats en els annexos I, II i IV.

Pel que fa al consum d'electricitat, apareix una disminució del consum del 53,2 % (de 1919 kWh a 899 kWh per any); i pel que fa a la factura d'energia elèctrica, l'estalvi és del 33,1 %

(de 1017 € a 692 €), ja que tot i disminuir el consum i la potència contractada; la part fixa evita un descens més acusat. La potència contractada, passa de ser 20 kW a 15 kW (ambdós casos es pren tarifa elèctrica sense discriminació horària); ja que reporta un benefici en la factura final i a més, la potència necessària per la bugaderia en cap cas arriba a ser tant alta com en la situació sense cogeneració, ja que els principals consumidors han disminuït la seva demanda de potència (rentadores i assecadores). A més a més, aquí també s'ha de tenir en compte que en el moment d'encesa de la unitat de cogeneració també s'abasteix l'assecadora i per tant, aquest terme desapareix del consum elèctric obtingut a través de la xarxa, que són 6 del 15 minuts de funcionament.

Un altre aspecte que aporta un benefici econòmic a la nova instal·lació de cogeneració és la venda d'energia elèctrica generada. Aquest fet és possible gràcies a l'excedent d'energia elèctrica produïda per la unitat de cogeneració i és una situació molt usual per aquest tipus d'instal·lacions, que s'acostumen a dimensionar en funció de l'energia calorífica necessària i l'energia elèctrica no és un factor limitant, ja que es planeja seguir connectat a la xarxa elèctrica per obtenir o subministrar energia elèctrica en funció del moment. És per això, que en la situació de funcionament de la unitat de cogeneració, aquesta només alimenta a la rentadora i/o l'assecadora en qüestió a part de tot el sistema de gestió energètica, l'excedent d'energia generada és venut a la xarxa elèctrica. Així doncs, a partir del número de rentadores i assecadores s'ha calculat la quantitat d'energia elèctrica produïda en excés venuda i finalment, aporta un benefici de 375 € anuals.

I per últim, l'únic aspecte que no reporta beneficis econòmicament és el consum de gas: aquest es veu incrementat segons les previsions del consum de la instal·lació de cogeneració, fet comprensible si es té en compte que passa a produir l'energia calorífica tant per les assecadores com per les rentadores. D'aquesta manera, el consum de gas es veu augmentat en un 138 % (de 3569 kWh a 8515 kWh) i un augment de la factura del 95 % (de 209 € a 407 €). Com a últim a mencionar, s'ha de dir que es contempla un cost de 10 €/any en concepte de lubricant del motor.

Finalment tots aquests canvis conclouen en uns guanys de 491,74 € anuals que com es pot observar són uns beneficis molt distants al cost de la inversió inicial de (15300 €) i per recuperar la inversió inicial seria necessari un horitzó de 31 anys aproximadament.

## 10. Resultats

Aquest apartat intenta ser un resum i una comparació entre les dades de partida i la planificació final. En l'informe de la unitat de cogeneració seleccionada es considera un rendiment elèctric de 31,40 % i un rendiment tèrmic de 52,60 %, que equival a un rendiment total del 84%. Aquests rendiments vénen donats per la potència tèrmica i potència elèctrica que la combustió de gas natural pot arribar a subministrar i l'altre 16 % es consideren pèrdues de la unitat de cogeneració. Tot i així, tots els altres components que també són instal·lats per gestionar l'energia produïda (com el cas de l'intercanviador o la càmera de mescles), comporten pèrdues i en el moment de l'emissió final de gasos a l'exterior de la bugaderia, encara hi ha una calor residual.

L'intercanviador de calor dissenyat, es considera que el seu funcionament té un rendiment del 90 %, que és la fracció de calor cedida dels productes de combustió a l'aigua. A més a més, en el cas de l'intercanviador, la temperatura dels gasos de sortida són de 270 °C aproximadament; aquesta temperatura és molt superior a la temperatura de l'aire ambient i per això es pot considerar que aquesta calor no ha estat aprofitada ja que aquests gasos ja són emesos directament a l'exterior. És per això, que es pot considerar que el rendiment real de tota la instal·lació es pot resumir en:

<b>Pèrdues en l'intercanviador</b>	0,96 kW
<b>Calor residual en els gasos de combustió</b>	9,29 kW
<b>TOTAL</b>	<b>10, 25 kW</b>
<b>Potència calorífica utilitzada real</b>	44,75 kW

*Taula 14. Aprofitament de l'energia calorífica subministrada pel sistema de cogeneració*

Seguidament si es fa el càlcul del rendiment real en conjunt de tota la instal·lació queda en un 74 %, al considerar les pèrdues a posteriori de la combustió del gas natural.

També cal comentar que no tota l'energia calorífica subministrada a l'aigua de refrigeració és utilitzada: en el moment que aquesta aigua es troba en l'acumulador, és inevitable la pèrdua de calor i per tant, com més es tardi en ser utilitzada més baix serà l'aprofitament real.

## 11. Conclusions

Durant la realització del treball s'ha estudiat diverses alternatives per la implantació de la cogeneració, els pros i contres del sistema seleccionat i la necessitat d'adaptar els productes de la unitat de cogeneració (aigua escalfada, gasos d'escapament, energia elèctrica) a un sistema que pogués gestionar un espai tant reduït com és l'escenari del treball, en aquest cas la bugaderia. El disseny per a sistemes de cogeneració té els seus inicis en el sector industrial i encara és difícil ser adaptat a petits nivells comercials o residencials.

Tal i com s'ha pogut estudiar al llarg d'aquest treball, un projecte de cogeneració a petita escala (microcogeneració) com aquest no és viable econòmicament parlant, ja que el període de retorn és superior a la vida útil que s'estima que té la unitat de cogeneració, la peça principal de tot aquest projecte. El fet de ser a petita escala, fa que els costos per kWt i per kWe siguin molt alts i per això, les hores de funcionament per ser rentable han de ser molt superiors i produir gairebé de forma continuada; no com el cas estudiat on el sistema de cogeneració només treballa en instants puntuals. Es calcula que per a un període de retorn raonable (10 anys i mig aproximadament), la producció de la bugaderia hauria de multiplicar-se per 4. Per altra banda, factors que també s'han posicionat en contra de la rentabilitat d'aquest treball ha estat la disminució d'ajudes per part del govern, que degut a diverses retallades que s'han implantat al llarg d'aquests anys han deixat d'apostar per un model energètic més eficient i més net; ja que tot i que el projecte no sigui viable econòmicament, l'impacte mediambiental disminueix.

## Agraïments

En primer lloc, agrair al tutor de Treball Final de Grau, Jose M<sup>a</sup> Morancho, la seva dedicació i ajuda al llarg del quadrimestre. En segon lloc, demostrar un gran agraïment a la Sra. Montse Jaile, propietària de la bugaderia, per tota la informació que em va aportar per a fer l'estudi.

## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] THE EUROPEAN ASSOCIATION FOR THE PROMOTION OF COGENERATION, A Guide To Cogeneration, Brussel·les, Març 2001
- [2] FUNDACIÓN ENTORNO-BCSD ESPAÑA, Manual de Cogeneración a pequeña escala y Microcogeneración en la pyme, Madrid, Abril 2007
- [3] ORDENANÇA SOLAR DE BARCELONA, gener 2006
- [4] RD 661/2007, Regulació de l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial
- [5] RD 319/1998, sobre límits d'emissió per a instal·lacions industrials de combustió de potència tèrmica inferior a 50 MWt i instal·lacions de cogeneració
- [6] ORDENANÇA REGULADORA DEL SOROLL I LES VIBRACIONS, Barcelona 2010
- [7] RD 413/2014, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos

### Bibliografia complementària

Apunts de l'assignatura de Termodinàmica

Apunts de l'assignatura de Termodinàmica

Apunts de l'assignatura d'Organització i Gestió





## Annex I – Càlcul de l'energia elèctrica i calorífica consumida actualment

En la taula A.1 s'ha contemplat la potència que utilitza el motor de l'assecadora al llarg d'un any, bàsicament utilitzada pel moviment del tambor durant tot el procés d'assecat (15 min) ja que l'energia calorífica ja és aportada per la combustió de gas natural.

ASSECADORES	
Potència elèctrica motor assecadora (kW)	0,75
temps assecadora (min)	15
Número d'usos (assecadores)	811
Energia elèctrica assecadores (kJ)	547425
Energia elèctrica assecadores (kWh)	152,0625

Taula A. 1. Consum elèctric de les assecadores

Consum anual gas natural de les assecadores	
Potència calorífica gas (kW)	44
Temps consum (min)	6
Kg gas/assecadora	0,32
m <sup>3</sup>	329,266
kWh	3568,83

Taula A. 2. Consum actual de gas de les assecadores

A continuació, s'ha fet una estimació del consum d'energia elèctrica que comporta les rentadores al llarg d'un any, si es considera que el 90% de les rentades es realitzen amb un programa de 30°C i una durada d'aquest programa de 32 min, 10 min presenten un consum major degut a l'escalfament d'aigua que s'ha estimat que és la fracció de 15/55 (diferència de temperatura de l'aigua del programa/ diferència de temperatura que pot aportar la rentadora) de la potència màxima consumida (10,6 kW), ja que la temperatura màxima de l'aigua que pot aportar la rentadora és de 70 °C. Durant la resta del programa es calcula un consum de 1,8 kW destinat bàsicament al moviment del tambor. Per al programa de 50 °C també s'ha fet una estimació similar, amb un temps d'escalfament de 15 min dels 44 min que dura.

Programa 30 °C		Programa 50 °C	
Número rentades	730	Número rentades	81
Temps total (min)	32	Temps total (min)	44
Temps escalfant (min)	10	Temps escalfant (min)	15
Frac. potència utilitzada	15°C/55°C	Frac. potència utilitzada	35°C/55°C

*Taula A. 3. Descripcions dels programes de la rentadora*

És per això, que el consum de les rentadores aproximat del sistema actual es resumeix en la taula A.4:

RENTADORA			
		Programa 30°C (kJ)	Programa 50°C (kJ)
Potència escalf. màxima (kW)	10,6	1266044,73	4431156,545
Potència motor (kW)	1,8	280281,6	385387,2
Número rentadores	811		
Total ( kJ)	6362870,07		
Total (kWh)	1767,46391		

*Taula A. 4. Consum elèctric de les rentadores actuals*

ENERGIA CONSUMIDA	kWh
Assecadores	152,06 (elèctrica)
	3568,83 (calorífica)
Rentadores	1767,46
Total (elèctrica)	1919,53

*Taula A. 5. Recull del consum total de la situació actual*

## Annex II – Càlcul de l'energia elèctrica i calorífica consumida en el cas de cogeneració

En aquest cas s'ha considerat el mateix consum elèctric global per a les assecadores ja que el funcionament del motor s'ha mantingut, però el consum de la xarxa ha disminuït perquè durant el temps de funcionament de la unitat de cogeneració l'electricitat utilitzada és la generada per l'alternador.

CONSUM DE GAS ANUAL DE LA UNITAT DE COGENERACIÓ	
Potència gas natural (kW)	105
cabal (kg/s)	0,00209895
Consum gas natural (kg)	612,809595
Consum anual(kWh)	8515,5

Taula A. 6. Càlcul del consum del gas de natural per la unitat de cogeneració

Pel que fa al consum elèctric de rentadora s'ha assimilat el consum només del motor ja que la necessària per escalfar l'aigua està comptabilitzada en el consum de gas natural de la unitat de cogeneració.

CONSUM ELÈCTRIC ANUAL PER LES RENTADORES	
Potència del motor (kW)	1,8
Número de rentades	811
TOTAL (kJ)	2907921,6
TOTAL (KWh)	807,76

Taula A. 7. Càlcul del consum de l'energia elèctrica per les rentadores

ENERGIA CONSUMIDA	kWh
Assecadores	91,23 (elèctrica)
Rentadores	807,76 (elèctrica)
TOTAL	898,99 (elèctrica)
Consum gas	8515,5 (calorífica)

Taula A. 8. Consum total d'energia elèctrica i energia tèrmica del cas de cogeneració

## Annex III – Càlcul del cost de la nova instal·lació

Tal i com s'ha comentat anteriorment, l'estudi econòmic s'ha fet en base la idea de proposar dues alternatives per renovar els sistemes de rentat i de l'assecat.

En el cas de l'alternativa 1 on es manté el sistema de funcionament, el pressupost inicial és l'indicat en la taula:

Objecte	Unitats	Cost
Rentadora	3	2700 €
Assecadora	2	5000 €
TOTAL		7700 €

*Taula A. 9. Pressupost per al cas 1*

No es considera cap altra instal·lació extra com ara noves connexions ja que es planifica amb les ja existents.

En el cas de l'alternativa 2 el sistema de funcionament és el de la producció de la calor centralitzada amb el sistema de cogeneració i a part de considerar tot el nou sistema energètic dins del pressupost, també s'hi contemplen les noves connexions i la compra de rentadores i assecadores que estiguin adaptades a aquest nou sistema de gestió de l'energia tèrmica. Per poder adaptar la bugaderia a aquest nou sistema, s'ha d'alterar totes les connexions necessàries per connectar la unitat de cogeneració a la xarxa d'aigua i l'abastiment de gas natural. A partir d'allí, també es contemplen totes les connexions que van a parar a l'intercanviador, la cambra de mescla i l'acumulador i posteriorment, a les assecadores i a les rentadores.

Components	Tipus	Unitats	Preu
Unitat de cogeneració	CHP OEKO 33 G	1	14000 €
Acumulador d'aigua		1	300 €
Connexions de gas natural	PE(polietilè) 10 mmm	11,5 m	175 €
Sistema d'extracció de gasos		1	500 €
Connexions de gasos de combustió	ACER INOX 2 mm	14, 6m	50 €
	ALUMINI 1 mm	13,8 m	50 €
Instal·lació cambra de mescles		1	450 €
Intercanviador de calor		1	500 €
Sistema de control		1	1000 €
Connexions aigua	PVC	28,4 m	175 €
Rentadora		3	1800 €
Assecadora		2	3000 €
TOTAL			22000 €

*Taula A. 10. Pressupost per al cas 2, que inclou sistema de cogeneració*

A part del cost material de tots els components de la nova instal·lació s'ha de tenir en compte el treball que comporta la instal·lació: al pressupost per tant, s'afegeix el cost de 12,5 €/hora durant el treball de 40 hores per a dos operaris, que és un total de 1000 €.

## Annex IV – Càlcul del cost de l'energia calorífica i elèctrica utilitzada en les dues alternatives

Pel que fa al càlcul de l'alternativa 1 s'ha estimat que és similar al consum actual

GAS NATURAL		ELECTRICITAT (20 kW)	
Consum kWh	3568,83	Consum (kWh)	1919,53
Preu €/kWh	0,04	tarifa fixa anual (€/kW)	38,320596
Tarifa fixa (€/mes)	5,52	preu (€/kWh)	0,13049
Total	208,99	Total	1016,89

*Taula A. 11. Factura anual de gas natural i elèctrica per a l'alternativa 1*

En el cas de l'alternativa 2 estudiada s'ha considerat el consum estimat per la mateixa capacitat de treball i s'ha disminuït la potència contractada a 15 kW ja que el consum instantani no és tant elevat, ja que sol ha d'abastir el funcionament mecànic de les assecadores i les rentadores.

GAS NATURAL		ELECTRICITAT (15 kW)	
Consum kWh	8515,5	Consum (kWh)	899,00
Preu €/kWh	0,04	tarifa fixa anual (€/kW)	38,320596
Tarifa fixa (€/mes)	5,52	preu (€/kWh)	0,13049
Total	406,86	Total	692,19

*Taula A. 12. Factura anual del gas natural i elèctrica per a l'alternativa 2*

Així doncs, el balanç de consum d'energia elèctrica i gas natural és positiu envers l'alternativa que té instal·lada el sistema de cogeneració, amb un benefici de 126,91 €/any.

Per altra banda, en l'alternativa on s'instal·la la cogeneració es caracteritza per la producció d'energia elèctrica, on la retribució varia en funció del període de l'any (hivern i estiu) i del

període del dia (punta o vall) i per calcular-la s'ha fet una mitjana ponderada en funció de les hores d'obertura de la bugaderia. S'ha considerat que l'ús de la cogeneració és majoritàriament en el moment d'ús de l'assecadora, i que només al principi de setmana una rentadora és utilitzada en el mateix instant que el sistema de cogeneració (que seria el cas que no hi ha aigua calenta acumulada), és per això que s'obté:

Tarifa	Mes	Elec venuda (kJ)	kWh	Retribució (€)
Hivern	gener	796476	221,24	34,06
Hivern	febrer	796476	221,24	34,06
Hivern	març	796476	221,24	34,06
Hivern	abril	837276	232,58	33,25
Estiu	maig	837276	232,58	33,25
Estiu	juny	837276	232,58	33,25
Estiu	juliol	1306476	362,91	51,89
Estiu	agost	-	-	-
Estiu	setembre	1306476	362,91	51,89
Estiu	octubre	551676	153,24	21,91
Hivern	novembre	551676	153,24	23,59
Hivern	desembre	551676	153,24	23,59
	<b>TOTAL (€)</b>			<b>374,82</b>

*Taula A. 13. Càlcul de la retribució per venda d'energia elèctrica*

D'aquí s'obté que l'estalvi en la factura de l'electricitat i el gas natural de l'alternativa 2 davant de l'alternativa comporta un benefici de 501,72 €/any, que es deu la diferència entre les dues factures i la venda de l'energia generada. Tot i així, s'ha de contemplar que en concepte de manteniment apareix una despesa de 10 €/any per al lubricant del motor, fins a un benefici net de 491,72 €/any.

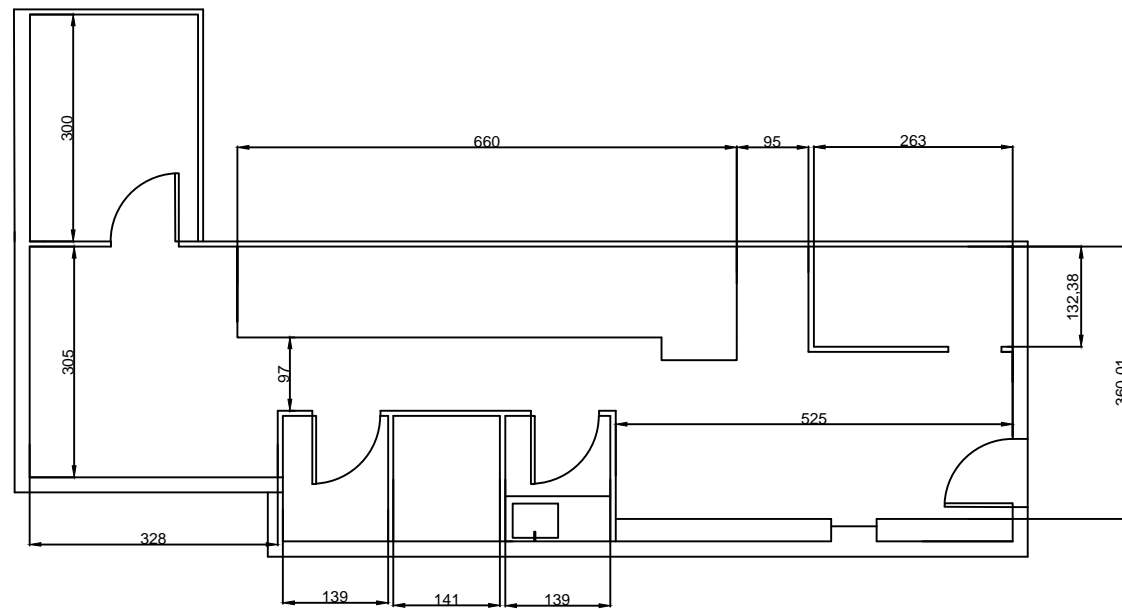
Pel que fa el consum de la xarxa monofàsica es contempla en una factura elèctrica a part i com que no es preveuen canvis en aquest aspecte no s'ha contemplat en els dos pressupostos anteriors.

## Annex V – Plànols

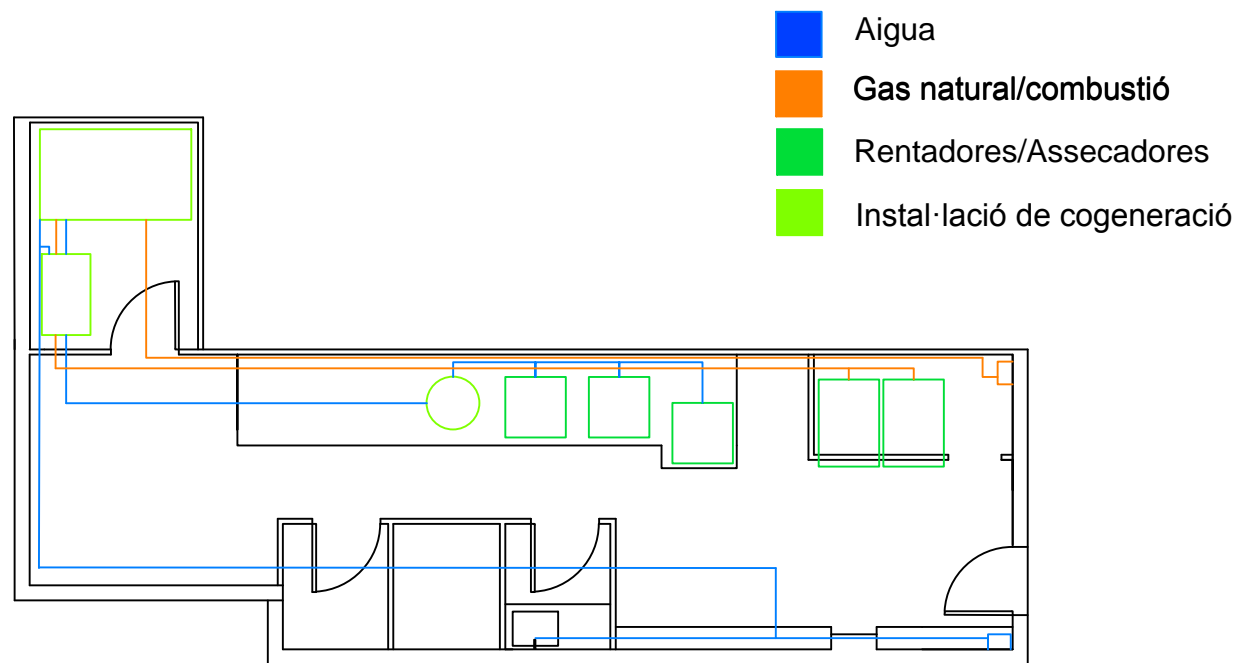
En aquest annex s'hi adjunten 3 plànols de la bugaderia:

- Planta de la bugaderia amb les mides de l'habitacle
- Planta de la bugaderia amb el sistema actual de rentat i d'assecat
- Planta de la bugaderia amb el sistema de cogeneració

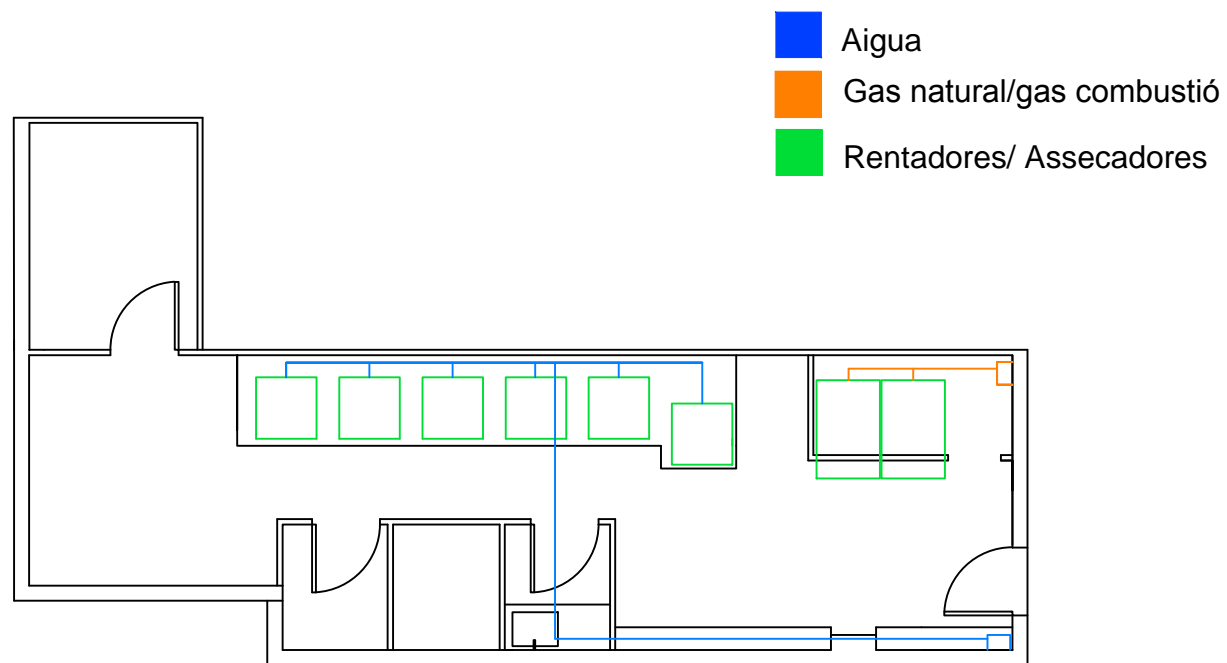




Planta de la bugaderia  
Escala 1:100



Planta de la bugaderia amb cogeneració  
Escala 1:100



Disposició rentadores i assecadores actual  
Escala 1:100